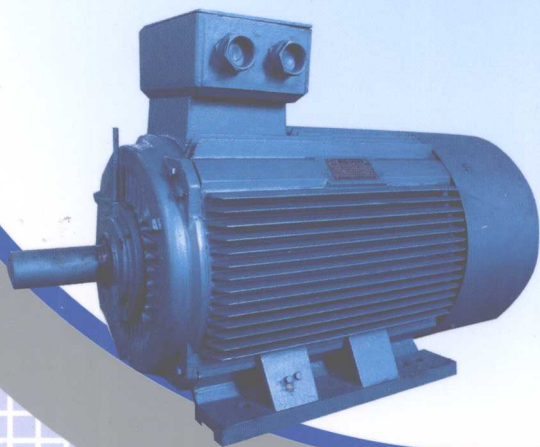




电工技能训练丛书

电动机检修

DIANDONGJI JIANXIU



盛占石 尤德同 主编
谭延良 主审



化学工业出版社

TM320.7/3

2008

电工技能训练丛书

电动机检修

盛占石 尤德同 主编
谭延良 主审



化学工业出版社

· 北京 ·

本书从电动机修理基础知识入手,对电动机修理所用的测试仪器仪表与维修工具、常用材料进行了介绍,详细阐述了三相异步电动机、单相异步电动机、单相串励电动机和直流电动机的工作原理与结构、绕组及其展开图的画法与嵌线方法、电动机常见故障的分析处理以及具体检修工艺。为提高电动机修理人员的专业技能,书中有选择地介绍了电动机修理计算方面的方法和公式,列举了一定数量的修理实例。

本书注重维修工艺介绍和操作技能的培养,具有较强的实用性。本书可作为电动机修理培训班的教材,也可供电动机修理人员学习使用。

图书在版编目(CIP)数据

电动机检修/盛占石,尤德同主编. —北京:化学工业出版社,2008.1

(电工技能训练丛书)

ISBN 978-7-122-01790-1

I. 电… II. ①盛…②尤… III. 电动机-检修-技术培训-教材 IV. TM320.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第205264号

责任编辑:李玉晖 宋 薇

装帧设计:王晓宇

责任校对:宋 夏

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 刷:北京云浩印刷有限责任公司

装 订:三河市延风装订厂

720mm×1000mm 1/16 印张15¼ 字数305千字 2008年2月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:26.00元

版权所有 违者必究



本书是根据劳动和社会保障部制定的《国家职业标准·常用电机修理工》编写的，可作为电机修理工的培训教材，也可以作为电机修理人员的自学教材。

本书第1章简要介绍了电动机及其拆装的基础知识。第2章介绍了电机修理中的常用材料以及电机的绝缘规范，包括绝缘材料、导电材料和辅助材料以及直流电机、三相交流异步电动机、小型单相电动机、单相串励电动机绕组的绝缘结构和绝缘规范。第3章简要介绍了电机修理中常用的工具和仪表。第4章主要介绍了电机机械零件的修理。第5章介绍了电动机绕组展开图的绘制，包括三相交流异步电动机、单相交流电动机、直流电动机和单相串励电动机，同时叙述了电动机绕组的接线和嵌线方法。第6章叙述了电动机常见故障及其检修方法，如三相异步电动机的接地故障、短路故障、断路故障和绕组接线错误故障以及转子绕组可能出现的电气故障；单相异步电动机的绕组故障及其检修方法，包括离心开关、各种控制继电器以及电热器的检查修理；直流电动机的绕组故障及其检修，包括定子绕组、主极绕组、换向极绕组、补偿绕组、磁极极身的绝缘处理和直流电机换向故障及其检修。第7章介绍了电动机绕组的重绕更换，包括工艺要求，同时介绍了导线代用、改变电动机极数和改变电动机电压的计算。第8章介绍了电动机的检查项目与试验方法，包括装配要求和电动机组装后应进行的电气试验要求。

全书由盛占石、尤德同主编，负责全书内容与章节的确定以及全书的统稿。本书第1~3章由盛占石、刘赫、王海韬编写；第4、5章由周新云、谭斐编写；第6章由尤德同、盛碧琪编写；第7、8章由黄丽、江博编写。

本书在编写过程中参阅了同行们撰写的许多著作，在此对他们致以衷心的感谢。全书由江苏大学谭延良担任主审。谭老师在审阅过程中，对初稿提出了许多宝贵意见，在此谨表示由衷的谢意。

由于编者水平有限，时间仓促，不足或错误之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

2007年9月于江苏大学



第1章 电动机基础知识	1
1.1 电与磁	1
1.1.1 磁场的基本概念	1
1.1.2 正弦交流电路	5
1.1.3 三相交流电路的一般概念	6
1.2 电动机工作原理	8
1.2.1 直流电动机的工作原理、结构、分类及用途	8
1.2.2 单相异步电动机的工作原理、结构、分类及用途	13
1.2.3 单相串励电动机的工作原理与结构	20
1.2.4 三相异步电动机的工作原理、结构、分类及用途	23
1.3 电动机的拆卸与装配	31
1.3.1 电动机的拆卸	31
1.3.2 拆卸轴承	32
1.3.3 电动机的装配	33
复习思考题	35
 第2章 电动机维修中的常用材料与绝缘规范	 36
2.1 绝缘材料	36
2.1.1 绝缘材料的耐热等级	36
2.1.2 电动机修理常用绝缘材料	36
2.1.3 电动机修理中常用的绝缘漆	39
2.2 电磁线	41
2.2.1 漆包电磁线	41
2.2.2 绕包电磁线	42
2.2.3 特种电磁线	44
2.2.4 电磁线的选用	45
2.3 辅助材料	45
2.3.1 轴承	45
2.3.2 引接线	47
2.3.3 槽绝缘、层间绝缘、端部绝缘和衬垫绝缘	48
2.3.4 绝缘套管	48
2.3.5 槽楔和垫条绝缘	48
2.3.6 线圈绝缘	49

2.3.7 绕组绑扎带	49
2.3.8 集电环	50
2.3.9 电刷	50
2.4 电动机绝缘结构及绝缘规范	53
2.4.1 直流电动机绝缘规范	53
2.4.2 三相交流异步电动机绝缘结构及绝缘规范	63
2.4.3 小型单相电动机定子绕组绝缘结构及绝缘规范	66
2.4.4 单相串励电动机绕组绝缘结构及绝缘规范	67
复习思考题	67
第3章 电动机维修常用工具及仪表	69
3.1 电动机维修的常用工具	69
3.1.1 普通工具	69
3.1.2 专用工具	71
3.2 电动机维修的常用仪表及量具	76
3.2.1 常用测量仪表	76
3.2.2 常用测量量具	81
复习思考题	83
第4章 电动机主要零部件的故障与检修	84
4.1 电动机机座和端盖的修补	84
4.1.1 机座或端盖裂缝的修补	84
4.1.2 机壳端口磨损变形的修理	85
4.1.3 端盖螺孔凸缘断裂的修理	85
4.1.4 轴承室磨损的修补	86
4.1.5 机座底脚断裂的修理	87
4.2 电动机铁芯故障检修	88
4.3 电动机转子与轴的检修	91
4.3.1 电动机转轴故障的修理	91
4.3.2 电动机转子故障的修理	95
4.4 电动机集电环故障检修	96
4.5 电动机电刷故障的检修	98
4.6 电动机的轴承检修	99
4.6.1 轴承常见故障	99
4.6.2 轴承检查	100
4.6.3 轴承的更换与代用	101
复习思考题	104
第5章 电动机绕组展开图及嵌线	105
5.1 电动机绕组的基本知识	105

5.2 三相异步电动机绕组展开图及嵌线	109
5.2.1 三相绕组排列的基本原则与绕组连接方式	109
5.2.2 单层绕组及其展开图	110
5.2.3 双层绕组及其展开图	118
5.3 单相交流电动机绕组展开图及嵌线	126
5.3.1 单层绕组	126
5.3.2 双层绕组	130
5.3.3 正弦绕组	130
5.4 直流电动机绕组展开图及嵌线	133
5.4.1 电枢绕组的一般概念	133
5.4.2 电枢绕组的排列	134
5.5 单相串励电动机绕组展开图及嵌线	139
复习思考题	140

第6章 电动机电气故障及其检修

6.1 三相异步电动机的绕组故障及检修	142
6.1.1 绕组接地故障	142
6.1.2 绕组短路故障	144
6.1.3 绕组断路故障	146
6.1.4 绕组线圈接线错误故障	149
6.1.5 鼠笼式转子的断笼故障	151
6.1.6 绕线式转子的故障	155
6.2 单相异步电动机的绕组故障及检修	158
6.2.1 电气故障的检修方法	158
6.2.2 绕组故障的检修方法	161
6.3 直流电动机的绕组故障及检修	163
6.3.1 定子绕组的故障检修	163
6.3.2 主极绕组的故障检修	166
6.3.3 换向极绕组的故障检修	167
6.3.4 补偿绕组的故障检修	168
6.3.5 磁极极身的绝缘处理	169
6.3.6 电枢绕组的局部修理	170
6.4 直流电动机的换向故障及检修	173
6.4.1 换向器故障及检修	173
6.4.2 电刷与刷握常见故障及检修	179
6.5 单相串励电动机的绕组故障及检修	184
6.5.1 励磁绕组故障及检修	184
6.5.2 电枢绕组故障及检修	184

复习思考题	186
第7章 电动机绕组的重绕更换	187
7.1 电动机绕组的重绕更换	187
7.1.1 填写原始记录卡片	187
7.1.2 拆除旧线圈	191
7.1.3 绕线工艺	192
7.1.4 嵌线工艺	196
7.1.5 绕组的连接	200
7.1.6 绕组连接后的检查试验	201
7.1.7 绕组的浸漆和烘干	207
7.2 代用导线线径的计算	211
7.2.1 保持导线截面不变的代用	211
7.2.2 改变绕组接法	211
7.2.3 改变电动机并联支路数	212
7.2.4 改变电动机极数的计算	212
7.3 改变电压的计算	215
7.3.1 改接改压方法	215
7.3.2 重绕绕组改变电压	217
复习思考题	218
第8章 电动机的检查项目与试验方法	219
8.1 电动机的装配质量要求	219
8.2 电动机修复后的电气试验	220
复习思考题	227
附录	229
参考文献	236

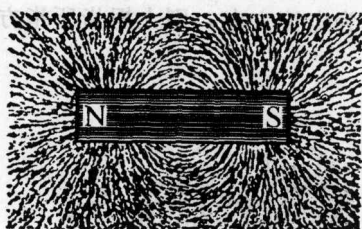
第 1 章

电动机基础知识

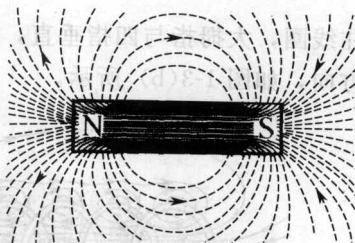
1.1 电与磁

1.1.1 磁场的基本概念

在磁体物质周围存在磁场具有力和能的特性。为了描绘磁场的分布情况，通常引入磁力线的概念。图 1-1 表示条形磁铁的磁力线。



(a) 磁场



(b) 磁力线

图 1-1 条形磁铁的磁场与磁力线

磁力线有以下几个特点：

① 磁力线是互不交叉，不能中断的闭合曲线，在磁体外部由 N 极指向 S 极，在磁体内部由 S 极指向 N 极；

② 磁力线上任意一点的切线方向，就是该点磁场的方向。即在该点的小磁针 N 极所指的方向；

③ 磁力线越密表示磁场越强，均匀磁场中磁力线是相互平行而均匀分布的；

④ 磁极总是 N、S 极成对出现的；

⑤ 磁铁具有同性相斥、异性相吸的特性。

1.1.1.1 磁感应强度 B

磁感应强度又称为磁通密度，它是定量描述磁场中各点的强度和方向的物理量。某点的磁感应强度定义为：单位面积内的磁通 Φ ，表达式为

$$B = \frac{\Phi}{S} \quad (1.1)$$

式中 S ——面积， m^2 ；

Φ ——穿过 S 的磁通， Wb ；

B ——磁感应强度, T。

1.1.1.2 载流直导体产生的磁场

载流直导体产生的磁力线是一簇以通电导体为中心的同心圆, 这些同心圆所在

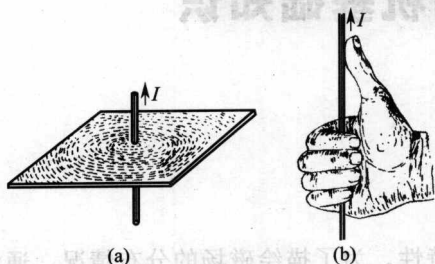


图 1-2 载流直导体产生的磁场

的平面与导体垂直, 如图 1-2(a) 所示。磁力线的方向符合安培定则: 右手握住导体, 大拇指与四指垂直, 大拇指所指方向为电流方向, 则四指所指方向为磁力线方向, 如图 1-2(b) 所示。

1.1.1.3 环形载流线圈产生的磁场

环形载流线圈产生的磁力线是一系列穿过线圈内孔的闭合回线, 如图 1-3(a) 所示。磁力线的方向符合右手安培定则: 右

手握住线圈, 大拇指与四指垂直, 四指所指方向为电流方向, 则大拇指所指方向为磁场方向, 如图 1-3(b) 所示。

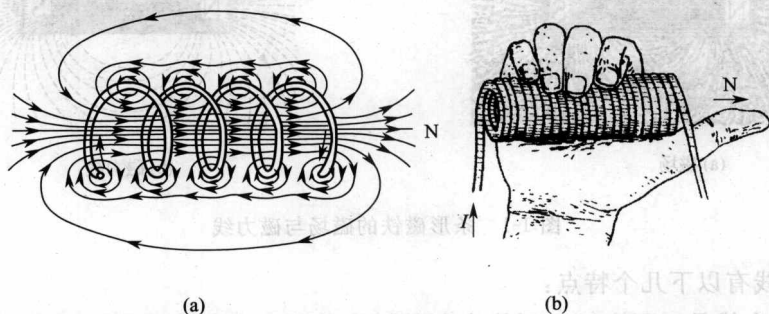


图 1-3 环形载流线圈产生的磁场

1.1.1.4 电磁感应

交变的磁场将在导体中引起电动势的现象称为电磁感应。由电磁感应产生的电动势叫感生电动势, 由它引起的电流叫感生电流。

(1) 导线切割磁力线产生的感生电动势

图 1-4(a) 中导体以速度 v 垂直切割磁力线, 此时导体中产生了感生电动势 e , 感生电动势的方向用右手定则来判定, 如图 1-4(b) 所示。即: 伸出右手, 大拇指与四指垂直, 手心对准 N 极, 大拇指指向导体运动方向, 则四指所指方向为感生电动势方向。

感生电动势的大小为

$$e = Bvl \quad (1.2)$$

式中 e ——感生电动势, V;

v ——导体垂直于 B 方向的运动速度, m/s;

B ——磁感应强度, T;

l ——垂直于 B 的导体长度, m。

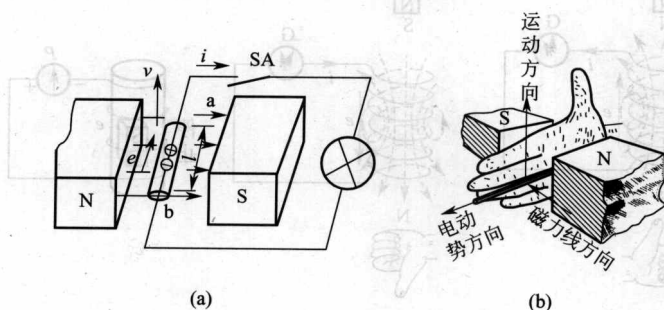


图 1-4 导体切割磁力线产生感生电动势及右手定则

(2) 穿过线圈中的磁通发生变化而产生的感生电动势

楞次定律的内容是：穿过线圈中的磁通发生变化时，线圈中将产生感生电动势。若线圈两端已构成闭合回路，则在感生电动势的作用下形成感生电流，而感生电流产生的磁场总是阻碍线圈中原磁通的变化。楞次定律是判断感生电动势方向的依据。该感生电动势的大小是：线圈中产生感生电动势的大小和穿过线圈中磁通的变化率成正比。其表达式为

$$e = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (1.3)$$

式中 e ——在 Δt 时间内感生电动势的平均值, V;

N ——线圈的匝数;

$\Delta\Phi$ ——在 Δt 时间内穿过线圈中磁通的变化量, Wb;

Δt ——磁通变化 $\Delta\Phi$ 所需的时间, s。

因为磁通及感生电势均以符合右手定则为正方向，所以式(1.3)中带负号。从物理意义上讲，负号表示 e 的方向始终与 $\Delta\Phi$ 的变化趋势相反，或者说：负号表示 e 总是企图阻碍原磁通变化的。

例如图 1-5(a) 中，插入永久磁铁，此时穿入线圈中的磁通增加，要阻碍它的增加，感生电流 i 产生的磁通的方向必须是向上，如图 1-5(a) 中虚线所示。根据安培定则要使 i 产生的磁场如图 1-5(a) 所示方向， e 的方向一定是图 1-5(a) 中所标示的方向。图 1-5(b) 中，由于拔出永久磁铁，磁通减少， e 、 i 的方向当然与图 1-5(a) 中 e 、 i 的方向相反。图 1-5(c) 表示永久磁铁停在线圈中间，此时虽然穿过线圈的 Φ 最大，但它不变化，所以感生电动势 $e=0$ 。

1.1.1.5 通电导体在磁场中受到力的作用

如图 1-6 所示，如果把一根载流导体置于磁场中，导体就会受到电磁力 F_{em} 的作用而移动。如果改变导体中通过的电流方向，则导体移动的方向随之改变。

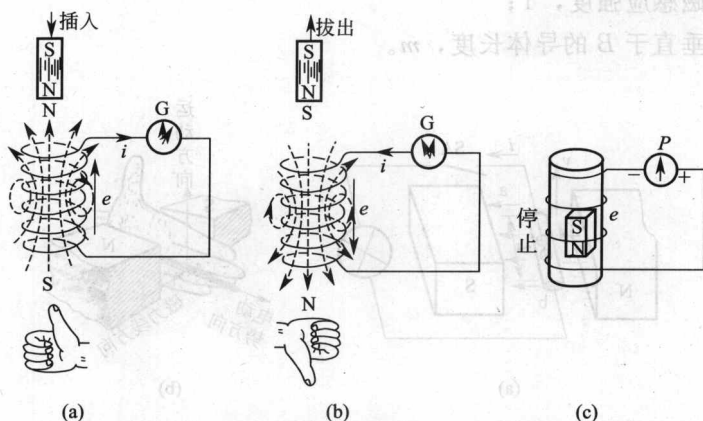


图 1-5 用楞次定律判断感生电动势的方向

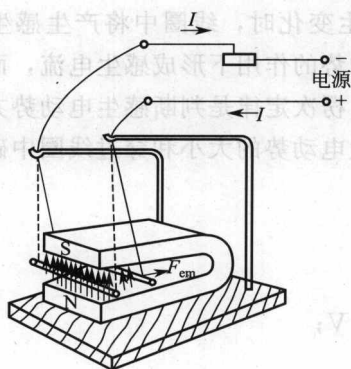


图 1-6 载流导体在磁场中产生地磁力

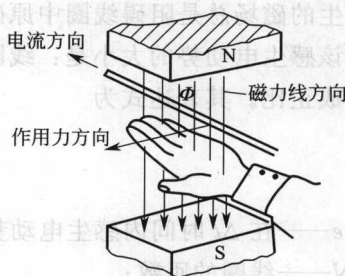


图 1-7 电动机左手定则

磁力线、载流导体、电磁力三者方向关系，可以用电动机左手定则来确定。如图 1-7 所示，伸出左手，拇指与四指垂直，使磁力线穿过掌心，四指指向电流方向，这时拇指所指方向即为载流导体的受力方向。电磁力 F_{em} 的大小为

$$F_{em} = Bli \quad (1.4)$$

式中 B ——磁场的磁感强度，T；

l ——导线的有效长度，m；

i ——导线内的电流，A；

F_{em} ——导线所受的电磁力，N。

式(1.4) 仅适用于磁力线方向、电流方向和导线所受电磁力的方向三者相互垂直的情况，如果载流导体与磁场磁力线间的夹角为 θ 时，则

$$F_{em} = Bli \sin \theta \quad (1.5)$$

电动机就是根据载流导体在磁场中产生电磁力的原理工作的。

1.1.2 正弦交流电路

电参数(包括电流 i 、电压 u 、电动势 e)的大小和方向随时间作周期性变化的叫交流电,如果它们的变化符合正弦函数的规律,则称为正弦交流电,如图 1-8 所示。由图可知,正弦交流电的数学表达式为

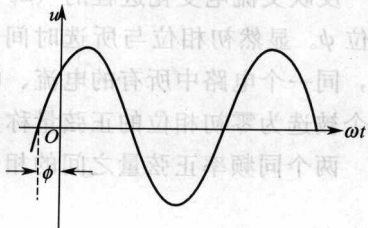


图 1-8 正弦量波形图

$$i = I_m \sin(\omega t + \phi) \quad (1.6)$$

该表达式反映了正弦量的大小、变化的快慢和起始值。

1.1.2.1 正弦交流电的三要素

(1) 交流电的周期、频率和角频率

交流电变化一个循环所需要的时间称为周期,用 T 表示,单位为秒(s)。单位时间内,即 1s 内完成的周期数称为频率,用 f 表示,单位是赫兹(Hz)。 T 和 f 互为倒数,即

$$f = \frac{1}{T} \quad (1.7)$$

交流电每交变一次就完成了 2π 弧度,即

$$\omega T = 2\pi \quad (1.8)$$

所以 ω 、 f 、 T 之间的关系为

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad (1.9)$$

式中, ω 的单位是 rad/s (弧度每秒)。

我国的工业标准频率是 50Hz。

(2) 交流电的瞬时值、最大值和有效值

交流电的瞬时值是一个随时间变化的量,用小写字母 i 、 u 、 e 表示。最大值又称为幅值,用带有下标 m 的大写字母 I_m 、 U_m 、 E_m 表示。由于交流电的大小和方向是随时间变化的,在计算中比较复杂。因此在实际应用中常用有效值来表示。所谓有效值是指:如果交流电通过一个电阻时在一个周期内消耗的电能,与直流电通过该电阻在同样长的时间内消耗的电能相等,则该直流电电流的数值就定义为交流电的有效值。用大写字母 I 、 U 、 E 来表示。

有效值的定义及它与瞬时值的关系适用于任何其它周期性变化的电量。对正弦交流电而言,可以推出

$$\left. \begin{aligned} I_m &= \sqrt{2} I \\ U_m &= \sqrt{2} U \\ E_m &= \sqrt{2} E \end{aligned} \right\} \quad (1.10)$$

1.1.2.2 交流电的相位、初相位、相位差

反映交流电变化进程的 $(\omega t + \psi)$ 称为相位或相位角。在 $t=0$ 时的相位称为初相位 ψ 。显然初相位与所选时间的起点有关。注意：在进行交流电路的分析计算时，同一个电路中所有的电流、电压和电动势只能有一个共同的计时起点。这样，这个被选为零初相位的正弦量称为参考量，而其它各个量均与参考量进行比较。

两个同频率正弦量之间的相位关系可以通过它们之间的相位差来说明。如

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$$

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_u)$$

它们之间的相位差为

$$\psi = (\omega t + \psi_i) - (\omega t + \psi_u) = \psi_i - \psi_u \quad (1.11)$$

由此可见，两个同频率的正弦量之间的相位差实际上是它们的初相位之差。而相位差的大小反映了两个同频率正弦量之间初相位的超前与滞后关系。

如果 $\psi_i - \psi_u > 0$ ，说明电流超前电压；

如果 $\psi_i - \psi_u < 0$ ，说明电流滞后电压；

如果 $\psi_i - \psi_u = 0$ ，说明电流与电压同相位，简称同相；

如果 $\psi_i - \psi_u = 180^\circ$ ，说明电流与电压相位相反，简称反相。

1.1.3 三相交流电路的一般概念

三个同频率、同幅值、彼此间有 120° 相位差的正弦交流电动势构成的电源称为三相对称正弦交流电源。而由三相电源及负载、连接导线及控制装置组成的电路称为三相交流电路。

(1) 三相对称正弦电动势

图 1-9 是三相交流发电机的结构示意图，图 1-10 为三相绕组示意图。三相定子（电枢）绕组 AX、BY、CZ 完全相同，且在定子铁芯内壁空间按 120° 电角度均匀安放构成三相对称绕组；定子铁芯表面的磁感应强度 B 按正弦规律分布。当转子（磁极）以 ω 的角速度旋转后，便产生了三相对称交流电动势。

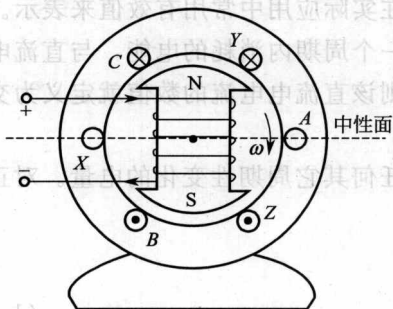


图 1-9 三相交流发电机结构示意图

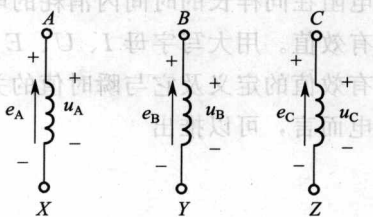


图 1-10 三相绕组

$$\left. \begin{aligned} e_A &= E_m \sin \omega t \\ e_B &= E_m \sin(\omega t - 120^\circ) \\ e_C &= E_m \sin(\omega t + 120^\circ) \end{aligned} \right\} \quad (1.12)$$

其波形图如图 1-11 所示。电动势的正方向规定从绕组的末端 X、Y、Z 指向首端 A、B、C。显然三相对称电动势的瞬时值或相量和为零, 即

$$e_A + e_B + e_C = 0 \quad (1.13)$$

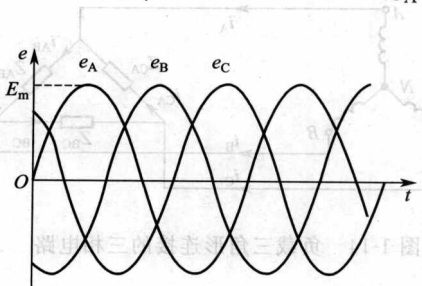


图 1-11 对称三相电动势波形图

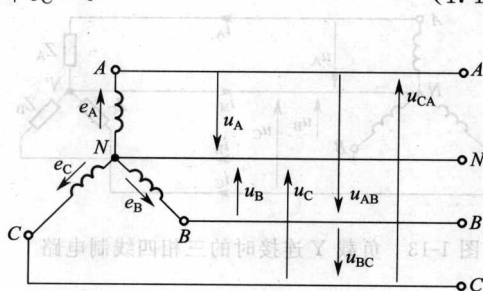


图 1-12 三相电源的 Y 连接

(2) 三相电源的 Y 连接

三相电源可以连接成星形 (Y) 接法和三角形 (Δ) 接法。图 1-12 所示为三相电源的 Y 连接。将末端 X、Y、Z 接在一起, 该连接点称为中性点或零点, 用 N 表示。从中性点引出的导线称为中线或零线。从绕组首端引出的线称为相线或火线。

相线与中性线之间的电压为相电压, 其有效值用 U_A 、 U_B 、 U_C 表示, 一般也可用 U_p 表示。相线与相线之间的电压为线电压, 其有效值用 U_{AB} 、 U_{BC} 、 U_{CA} 表示, 同样一般也可用 U_l 表示。通过向量分析可知, 三相电源作 Y 连接时的线电压与相电压、线电流与相电流之间存在以下关系

$$\left. \begin{aligned} U_l &= \sqrt{3} U_p \\ I_l &= I_p \end{aligned} \right\} \quad (1.14)$$

(3) 对称三相负载的 Y 连接

三相电路中负载的连接方式有两种, 即星形 (Y) 接法和三角形 (Δ) 接法。连接负载时, 应根据负载的额定电压来确定负载的连接方法。

图 1-13 为三相负载的 Y 连接图。由于三相异步电动机的定子绕组可以看成是三相对称负载 (所谓对称负载是指负载的阻抗值相等, 阻抗角相同)。同时三相电源也对称, 则三相电流也对称, 即

$$\left. \begin{aligned} I_A &= I_B = I_C = I_p = \frac{U_p}{|Z|} \\ \varphi_A &= \varphi_B = \varphi_C = \varphi = \arccot \frac{X}{R} \end{aligned} \right\} \quad (1.15)$$

这时通过中线的电流为零。

此时中线上没有电流通过，因此可以不接中线，这就是三相三线制电路。三相三线制电路在工程上应用十分广泛（如三相交流异步电动机）。

由图 1-13 可知，中线的作用是无论三相负载是否对称，它都强迫各相负载两端的电压始终等于电源的相电压。但是如果中线断开，一旦三相负载失去对称性，则各相负载两端的电压也立即失去对称性，这将会造成严重的事故。

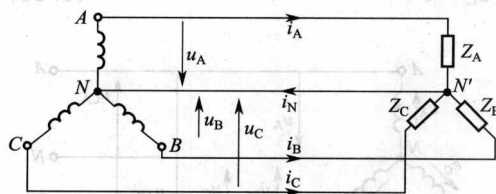


图 1-13 负载 Y 连接时的三相四线制电路

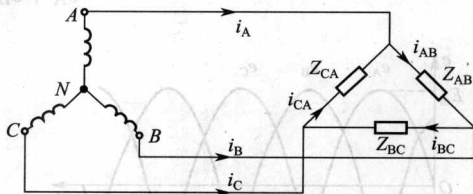


图 1-14 负载三角形连接的三相电路

(4) 对称三相负载的 Δ 连接

图 1-14 为负载三角形连接的三相电路。由于负载对称，电源也对称，所以此时通过负载电流 I_P 和供电线路中的电流 I_L 分别为：

$$I_P = I_{AB} = I_{BC} = I_{CA} = \frac{U_L}{|Z|} \quad (1.16)$$

$$I_L = \sqrt{3} I_P$$

1.2 电动机工作原理

电机是一种机电能量转换的机械，将机械能转换成电能的机械为发电机；将电能转换成机械能的机械为电动机。它们根据电与磁的相互作用、相互转化的特性而工作的。因此，电磁感应的基本定律是电机工作原理的基础。本教材主要讨论的是电动机。

1.2.1 直流电动机的工作原理、结构、分类及用途

1.2.1.1 直流电动机的工作原理

图 1-15 所示为简单直流电动机的原理图。在主磁场内随轴旋转的线圈 $abcd$ （电枢绕组），经换向片及电刷与直流电源相连构成电流的通路。当线圈在图 1-15(a) 所示的位置时，右侧导体 ab 中的电流方向朝内。按照左手定则，它将受到向上的电磁力。左侧导体 cd 中的电流方向则朝外，它受到向下的电磁力。电枢受此力偶的作用而朝逆时针方向转动。当转到图 1-15(b) 所示的位置时，正值换向片由一个电刷滑到另一个电刷的瞬间，导体 ab 及 cd 处在磁场的中性位置，故没有力偶作用，电枢依靠惯性继续旋转经过中性位置。这时换向片调换了它所接触的电刷，转到了图 1-15(c) 所示的位置，于是线圈中的电流方向也随着改变。导体 ab 转到了

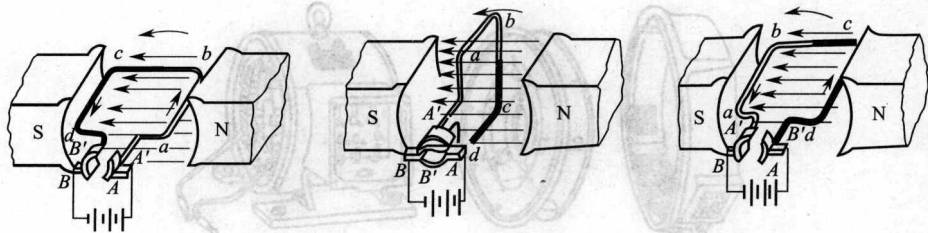


图 1-15 直流电动机工作原理图

左侧, 电流方向变为朝外, 受到向下的力; 导线 cd 转到了右侧, 受到向上的力。在此力偶的作用下, 电枢继续旋转。

在实际的电动机中, 电枢绕组的导体和换向片都很多, 它们均匀分布在电枢圆周的不同位置, 除了个别处于中性位置的导体外, 其余导体都将受到电磁力的作用, 使电枢无论在什么位置, 都能产生一个基本恒定的转矩。电动机的导体 ab 及 cd 在磁场中转动以后, 它也像在发电机时一样因切割磁力线而产生感生电势, 其方向则与电源电势相反, 称反电势。同样, 当直流发电机有了负载电流以后, 它的导体也和电动机时一样在磁场中将受力而产生力矩, 其方向则与原动力矩方向相反, 称为制动力矩。由此可见直流发电机与直流电动机是直流电机的两种运行方式, 从理论上讲它们是可逆运行的。

1.2.1.2 直流电动机的结构

直流电动机结构如图 1-16 所示。主要由定子 (固定不动) 和电枢 (旋转运动) 两大部分组成。

(1) 定子

直流电动机的定子主要由机座, 前、后端盖, 主磁极, 换向极, 电刷装置等组成。

① 机座 通常用铸铁或铸钢件制成, 用来支撑整个电动机的所有零部件。主磁极及换向极是用螺钉直接固定在机座上的, 而转子部分则通过前、后端盖支持于机座上。同时机座还是电动机磁路的一部分, 其用作传导主磁极和换向极磁通的部分称为磁轭。机座与磁极铁芯之间设置有一些铁垫片, 它们是用来调整电动机定、转子间气隙的。

② 主磁极 由主磁极铁芯和主磁极绕组两部分组成。通常为减小主磁极磁通变化而产生的涡流损耗, 主磁极铁芯多为 $0.5 \sim 1.5\text{mm}$ 厚的硅钢片或普通钢板的叠片结构, 而不是用整块钢来制造。主磁极绕组则套装在主磁极铁芯极身处, 小型直流电动机的主磁极绕组用圆铜线绕制, 中、大型直流电动机则多用扁铜线制造而成。主磁极结构如图 1-17 所示。

③ 换向极 也称附加极或间极, 它大都用整块钢制成, 但也有用 $0.5 \sim 1.5\text{mm}$ 厚的硅钢片或普通钢板制造的。其极身和极靴都比较窄, 极身处套装有换向极绕组, 与主磁极绕组一样也是用圆铜线或扁铜线绕制而成。换向极用来产生换向磁场, 改善直流电动机的换向条件。换向极结构如图 1-18 所示。